固相結晶化の多様性と機能創生への期待

Solid Phase Crystallization of Semiconductors: A Review on Charactristics and Potential

九州大 E-JUST センター 1 $^{\bigcirc}$ 浅野 種正 1

Kyushu Unv.¹ ^OTanemasa Asano¹

E-mail: asano.tanemasa.737@m.kyushu-u.ac.jp

はじめに Si の固相結晶化に関わる理解は LSI や平 面ディスプレイ産業の発展に大きく貢献してきた。 最近では例えば FinFET のような極微細で三次元 的構造をもつ素子の製造技術に活かされている [1]。 ここでは、Si へのイオン注入プロセスで形成される 非晶質層の回復過程の研究以来進展した固相エピタ キシャル成長 (SPEG) とそれに関連する結晶成長促 進技術についての知見を整理することを試みる。

基本特性 Si の SPEG 速度 v は基板結晶方位、温 度、圧力、ドーピングに依存する。温度については 融点付近まで約 10 桁にわたり Arrhenius 経験式に 則って変化することが確認されている (Fig. 1)。

$$v = v_0 \exp\left(-\frac{E_a + P\Delta V_a}{RT}\right)$$

ここで、ノンドープまたは少量ドープした Si(100) 面 方向では頻度因子 $v_0 = 3.1 \times 10^8 [\text{cm/s}]$ 、活性化エネ ルギーは面方位に依らず $E_a = 2.7 [\text{eV}]$ 、活性化体積 は静水圧 P の下で $\Delta V_a = -3.3 [\text{cm}^3/\text{mole}]$ が標準 値である [2]。 v_0 の大きさは (100) > (110) > (111) である。

ドーピング BやPを概ね $N \sim 2 \times 10^{19}$ [cm⁻³] を超 える密度にドーピングすると SPEG 速度 v は増加 する。Bの場合、 $N = 2 \times 10^{20}$ [cm⁻³](0.4 [at. %]) で約 28 倍に増速する。B と P のコドーピングで補 償すると増速効果は消失することから、電位の変化 に伴う帯電空孔密度の変化による現象であると理解 される。一方、F をイオン注入すると減速する。ま た、大気中の水分の解離による水素の侵入によって も減速する。

金属シリサイド媒介エピタキシー 結晶シリコンの 表面に金属シリサイド層を形成し、さらにその上に 非晶質 Si を堆積して熱処理すると、金属シリサイ ドと非晶質シリコンが層交換して Si のエピタキシャ ル層が形成される。多くの金属シリサイドが同様の 現象を示すが、Fig. 1 中には Pd₂Si で観測された 成長速度をプロットした。結晶成長の低温化に有効 で、例えば通常の SPEG における 600 ℃に相当す る速度を 450 ℃で得ることができる。一定の結晶成 長速度に達する温度はシリサイドの形成エネルギー に応じて高くなるという結果が報告されている。同 様の機構は高配向多結晶シリコン薄膜の形成に利用 されている。

粒子線照射援用結晶成長 電子線やイオン線を照射 しながら加熱すると、さらに低温での SPEG が観 察される。Fig. 1 には、0.6 MeV の Ne イオンを照 射した場合の結果を示した。この場合、SPEG 長は 時間ではなく照射量とビーム束によって決定される ことになるが、比較のため、SPEG 長をビーム束か ら換算した照射時間で除して SPEG 速度としたも のを示している。Ne イオン照射援用によって、200 ℃でも通常成長における約 500 ℃と同様の SPEG 速度が得られると言える。なお、ビーム束に臨界値 が存在し、それ以上になると非晶質層が成長すると いう特性を示す。

サーファクタント SPEG においてもサーファクタ ント効果が得られる。例えば、Si 上に Ge を固相で ヘテロ成長させる際、Si 基板と非晶質 Ge の間に Sb を約7×10¹⁴[atoms/cm²] を挿入すると、SK モー ドでの成長に伴う島状成長を抑制できるとの結果が 示されている [3]。Ge の成長の過程で Sb が表面に 析出していることから、サーファクタント効果が発 生したものと考えられる。

おわりに 固相結晶化は非晶質から結晶への状態変 化という単純なプロセスではあるが、固溶限を超え ての高濃度ドーピング、急峻な界面の形成、平滑表 面の容易形成、低温化技術などデバイス作製に有効 に利用可能な多くの特徴をもつ。また、 工業技術 としても受容しやすい。今後、化合物半導体の固相 成長の理解や新素子・新機能の実現が進展すると期 待する。





Fig. 1: Growth rates in solid phase epitaxial growth performed by thermal annealing, silicide-mediated epitaxy, and ion beam enhanced epitaxy.

文献 (Fig. 1 中に記載のもの以外)

- [1] R. Duffy et al, Appl. Phys. Lett., **90** (2007) 24912.
- [2] G-Q. Lu et al, J. Appl. Phys., **70** (1991) 5323.

[3] H. J. Osten et al, Phys. Rev. Lett., 69 (1992) 450.